

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Kone- ja tuotesuunnittelu

Henri Kauppila

Kokoonpanotelineen konseptisuunnittelu

Opinnäytetyö 2016

Tiivistelmä

Henri Kauppila

Kokoonpanotelineen konseptisuunnittelu, 33 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Kone- ja tuotesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2016

Ohjaajat: lehtori Simo Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu, Suunnittelupäällikkö Tuomo Liimatainen, The Switch Drive Systems Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä konseptisuunnittelu suurnopeus-sähkömoottorin kokoonpanotelineestä The Switch Drive Systems Oy:lle. Työssä ei ollut tarkoituksena suunnitella lopullista valmistettavaa telinettä valmistuspiirustuksineen vaan ainoastaan konseptisuunnitteluvaihe. Lähtötiedot työhön saatiin aloituspalaverista, jonka pohjalta rakennettiin kokoonpanopenkin vaatimuslista.

Teoriaosassa esitellään yleisimpien sähkömoottorien tyyppejä ja rakennetta. Lisäksi käsitellään koneensuunnitteluprosessin ja konseptisuunnittelun perusteita, tarkoituksena soveltaa näitä käytäntöjä tehtävän suunnittelutyöhön.

Työ sisälsi kokoonpanopenkin ja kokoonpanoprosessin ideoinnin, vaihtoehtojen vertailua ja lyhyen jatkokehittämisen parhaalle idealle. Tämän lisäksi ideoitiin oleellisesti asennusprosessiin liittyviä ja tarvittavia nostoapuvälineitä ja lopullisesta kokoonpanoprosessista tehtiin sanallinen kuvaus.

Työn tuloksena oli asennuspenkistä konsepti, joka täyttää annetut vaatimukset ja on mahdollinen toteuttaa.

Asiasanat: Sähkömoottori, konseptisuunnittelu, kokoonpano

Abstract

Henri Kauppila

Concept design of assembly bench, 33 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering

Mechanical and Industrial Design

Bachelor's Thesis 2016

Instructors: Mr Simo Sinkko, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences, Mr Tuomo Liimatainen, Engineering Manager, The Switch Drive Systems Oy

The purpose of the thesis was to design a concept assembly bench for a high speed electrical motor. The work was commissioned by The Switch Drive Systems Oy. The information and specifications were gathered from the kick-off meeting and list of requirements was created based on that.

The theoretical part of the thesis includes general information about electrical motors, types and structures. In addition mechanical design process and concept design were included in the intention of apply these practices to thesis.

The thesis includes the concept design phase, generation of ideas, evaluation of ideas and choosing the most promising one. In addition other equipment and tools for assembly were also defined.

The final result of this thesis was the concept of the assembly bench which fulfils the requirements and the written description of the assembly process.

Keywords: Electric motor, concept design, assembly

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Sähkömoottorit.....	6
2.1	Tasavirtamoottori	8
2.2	Tahtimoottori.....	9
2.3	Epätahtimoottori.....	9
3	Suunnitteluprosessi	10
3.1	Suunnitteluprosessin alustus	10
3.2	Konseptisuunnittelu	11
3.3	Tuotesuunnittelu	13
4	Suunnittelu.....	14
4.1	Vaatimukset	16
4.2	Ideointi	17
4.2.1	Asennusasento.....	18
4.2.2	Komponenttien nosto ja tarvittavat nostoapuvälineet	19
4.2.3	Komponenttien asennusjärjestys.....	20
4.3	Vertailu.....	21
4.4	Jatkokehitys	22
4.5	Kuvaus asennusprosessista	25
5	Yhteenvedo ja pohdinta	29
	Kuvat ja taulukot	31
	Lähteet.....	32

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä kokoonpanotelineen konseptisuunnittelu sähkömoottorin asennuksen avuksi. Opinnäytetyö tehtiin Lappeenrannassa toimivalle The Switch Drive Systems Oy:lle, joka toimittaa muun muassa kestomagneetti-generaattoreita, taajuusmuuttajia ja sähkömoottoreita (The Switch).

The Switch perustettiin vuonna 2006, kun lappeenrantalainen Rotatek Finland, vaasalainen Verteco ja yhdysvaltalainen Youtility yhdistyivät. Vuonna 2014 yrityksen pääomistajaksi tuli japanilainen Yaskawa Electric Corporation. (Green Energy Showroom, The Switch.)

Työn taustalla oli The Switchillä suunnitteilla oleva suurnopeusmoottori, joka poikkeaa aiemmin valmistetuista moottoreista rungon osalta merkittävästi. Vastaavanlaisia moottoreita ei yritys ole aiemmin valmistanut, jolloin nykyiset kokoonpanopenkit eivät juuri sovellu uuteen moottoriin. Tästä syystä oli tarvetta uuden kokoonpanotelineen suunnitteluun.

Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tehtävänä oli tuottaa erilaisia konsepteja, joilla kyseisen sähkömoottorin kokoonpano voidaan toteuttaa. Tavoitteena oli löytää sellainen konsepti, jolla asennus onnistuisi mahdollisimman helposti, nopeasti ja turvallisesti.

Työssä tarkoituksena oli suorittaa vain konseptisuunnitteluvaihe. Tämä pitää sisällään asennuspenkin vaatimusten määrittämisen sekä erilaisten ratkaisuvaihtoehtojen ideoimisen, vertailun ja pienimuotoisen jatkokehityksen. Lisäksi työssä mietittiin osien asennusjärjestystä ja mahdollisesti tarvittavia apuvälineitä, kuten nostoapuvälineet.

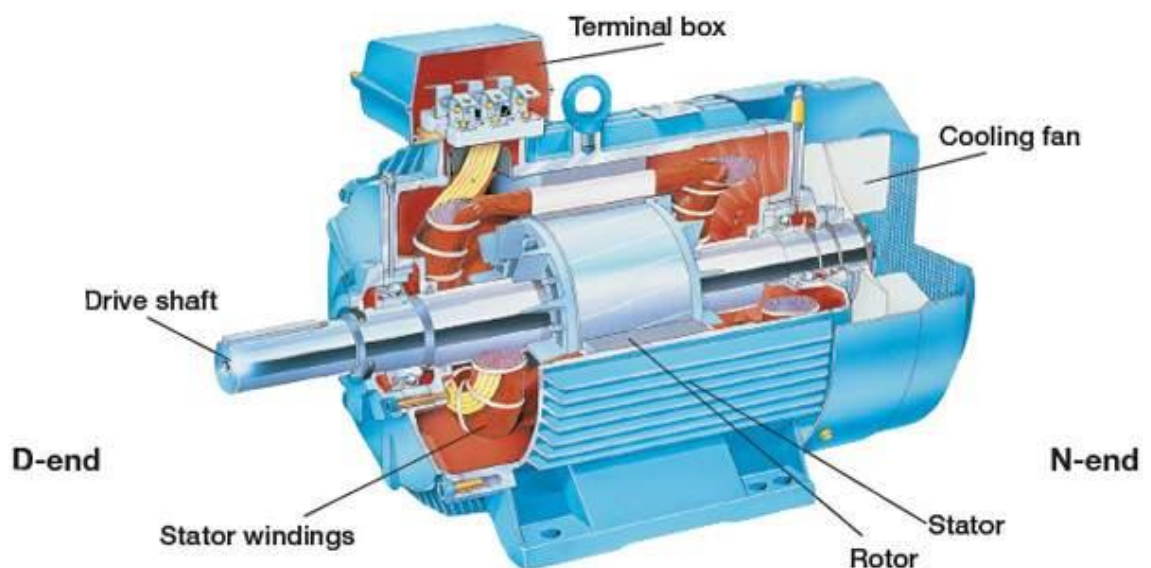
Kokoonpanopenkin rakenteiden tarkemmat mitoitukset ja asennuspenkin valmistuskuvat eivät sisälly työhön.

2 Sähkömoottorit

Sähkömoottoriksi kutsutaan konetta joka muuntaa sähköenergian akselin pyörimisliikkeeksi eli mekaaniseksi energiaksi. Tämä perustuu sähkömagneetteihin joita pystytään kytkemään päälle ja pois (Motiva 2014). Sähkömoottoreita voidaan luokitella esimerkiksi tehon, pyörimisnopeuden, hyötysuhteen tai sähköisen toimintaperiaatteen mukaan tasa- ja vaihtovirtamoottoreihin, joista jälkimmäiset voidaan jakaa tahti- ja epätahtimoottoreihin.

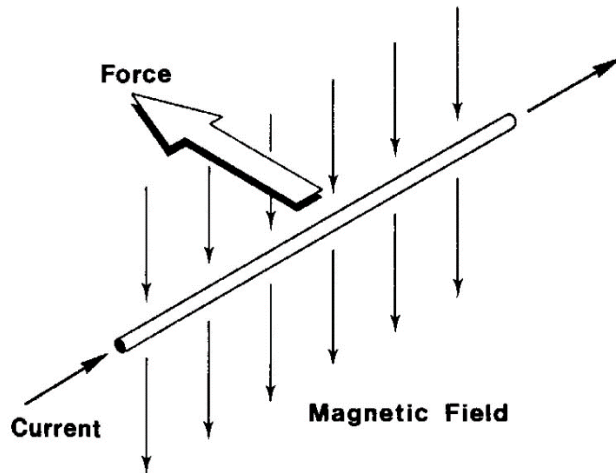
Sähkömoottoreita on useita eri tyyppejä, mutta niillä on yhteisiä perusosia. Näitä ovat mm. kuvassa 1 olevat pyörivä roottori, staattori, laakerikilvet, laakerit ja liitinkotelo. Roottori on usein staattoriaukon sisällä, niin että roottorin ja staattorin väliin jää pieni ilmarako, jolloin roottori pystyy pyörimään laakerien varassa vapaasti. Laakerit ovat kiinnitetty laakerikilpiin ja nämä laakerikilvet ovat kiinnitetty staattoriin. Tämä muodostaa koneen rungon. Lisäksi konetyypistä riippuen staattoriin ja roottoriin on sijoitettu käämitykset kunkin konetyypin mukaisesti. (Korpi-nen 1998a, 1).

Moottorin päädyt erotellaan usein D-pääksi (DE, Drive End) ja N-pääksi (NDE, Non-Drive End). D-päällä tarkoitetaan vetopäätä, johon haluttu toimilaite kiinnitetään. N-päätä voidaan käyttää hyväksi sijoittamalla sinne moottorin jäähdytyspuhallin tai kierrosnopeutta mittaava anturi.



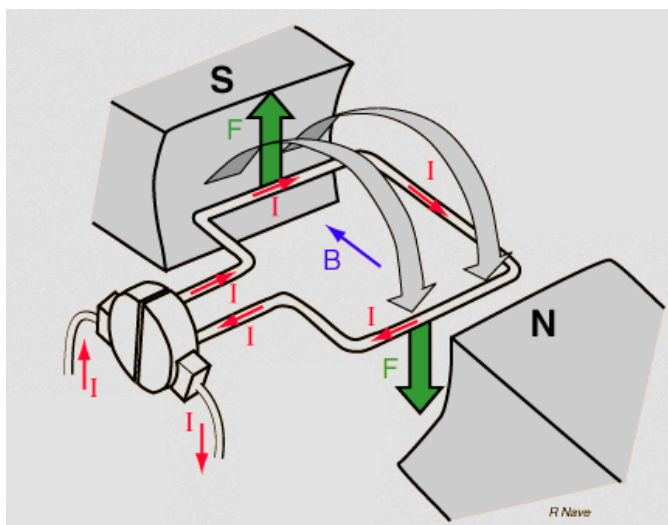
Kuva 1, Induktiomoottorin rakenne (Goldberg)

Sähkömoottoreiden toiminta perustuu magneettikentän ja virrallisten johtimien välisiin voimavaikutuksiin (Korpinen 1998a, 1). Kun virrallinen johdin sijoitetaan magneettikenttään, johtimeen kohdistuu kuvan 2 mukainen voima, joka on suurimmillaan johtimen ollessa kohtisuoraan magneettikenttää vasten (Hughes 1993, 3).



Kuva 2, Johdin magneettikentässä (Hughes 1993, 3)

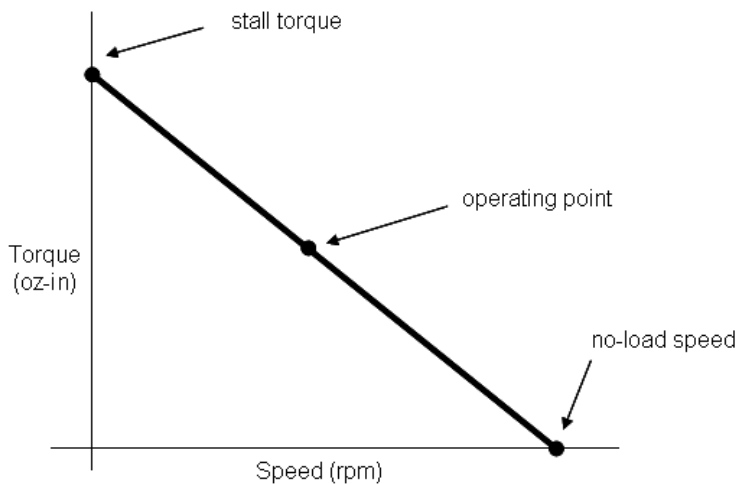
Jotta yksittäisen voiman sijasta saataisiin akselille vääntömomenttia, voidaan johdin taivuttaa magneettikentässä olevaksi silmukaksi kuvan 3 esittämällä tavalla. Tällöin magneettikenttää nähden kohtisuorassa on kaksi johdinta, joiden virta on eri suuntaan. Tällä saadaan aikaan kaksi erisuuntaista voimaa, jolloin saadaan vääntömomenttia. (Hyperphysics).



Kuva 3, Johdinsilmukka magneettikentässä (Hyperphysics)

2.1 Tasavirtamoottori

Tasavirtamoottori toimii nimensä mukaisesti tasavirralla. Yksinkertaisimmillaan rakenne voi olla kuvan kolme mukainen. Lisäksi tasavirtamoottorit vaativat toimiakseen kommutaattorin, joka toimii sähkövirran suunnankääntäjänä (Motiva 2014). Kuvassa 4 on esitetty tasavirtamoottorin tyypillinen nopeus-vääntö -kuvaaja, maksimimomentti saavutetaan roottorin ollessa paikallaan, vastaavasti maksiminopeudella momentti on pienimmillään (UMN 2014).



Kuva 4, Tasavirtamoottorin nopeus-vääntö -kuvaaja (UMN)

Kommutaattoria tarvitaan, kun kuvan 3 mukaiseen roottorikäämiin syötetään virtaa. Tällöin johdinsilmukka alkaa kääntyä, jolloin roottori alkaa pyörähtämään. Tämä liike jatkuu, kunnes silmukka asettuu kohtisuoraan magneettikenttää vastaan. Jatkuvan pyörimisliikkeen mahdollistaa kommutaattori, jolla roottorikäämiin menevän virran suunta vaihdetaan 180 asteen välein. Tällöin pyörimisliike säilyy yllä eikä pysähdy. Käytännössä tasavirtamoottorien roottori koostuu useammasta kuin yhdestä johdinsilmukasta, näin saavutetaan tasaisempi vääntömomentti pyörähdysen aikana (Hyperphysics).

Tasavirtamoottorit voidaan jakaa kahteen ryhmään, harjalliset ja harjattomat tasavirtamoottorit, sen perusteella miten kommutaattori on toteutettu. Harjallisessa moottorissa kommutaattori on mekaaninen hiili- tai teräsharja, joka on jatkuvasti kosketuksissa roottorikäämiin. Harjaton tasavirtamoottori taas tarvitsee ohjaus-elektroniikkaa, joka ohjaa virran suunnan roottorin asennon mukaan. (Motiva 2014.)

2.2 Tahtimoottori

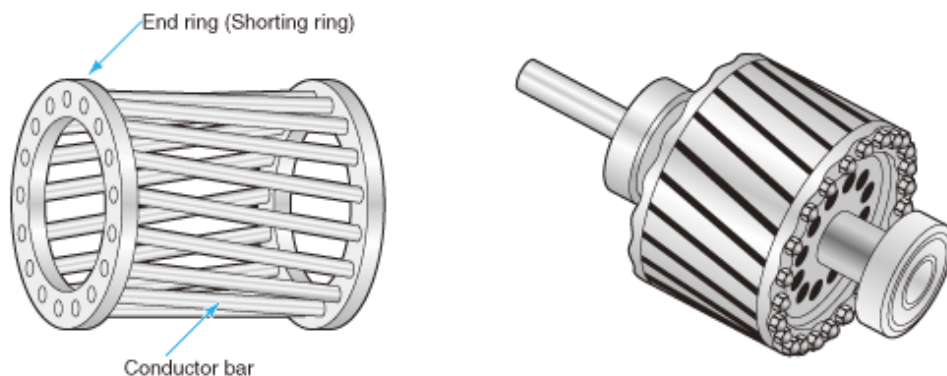
Tahtimoottori on vaihtovirralla toimiva sähkömoottori, jonka akseli pyörii vaihtovirran taajuuden ja koneen napaluvun määrittämällä tahdilla. Tahtimoottorista käytetään myös nimityksiä synkronimoottori tai vierasmagnetoitu moottori. Jälkimmäinen nimi tulee siitä, että roottoriin johdetaan magnetointivirta erillisestä piiristä suoraan roottorin käämitykselle. (Motiva 2014.)

Suuret moottorit toteutetaan usein tahtimoottoreina, sillä se on usein taloudellisin ratkaisu (Korpinen 1998b, 1). Induktiomoottoreihin verrattuna hyötysuhde on yleensä muutaman prosentin parempi (Motiva 2014). Yleisin tahtikoneiden käyttösovellus on sähköntuotantoon käytettävät tahtigeneraattorit, joiden näennäisteho voi olla luokkaa 1000 MVA ja jännite 10-30 kV (Korpinen 1998b, 1).

2.3 Epätahtimoottori

Epätahtimoottorit toimivat vaihtosähköllä. Nimitys tulee siitä, että koneen roottori ei pyöri magneettikentän pyörimisnopeuden tahdissa vaan hieman jäljessä. Yleisin epätahtikone on oikosulkumoottori. (Kortelainen 2009.)

Oikosulkumoottori on yleisesti käytetty yksinkertaisen rakenteensa vuoksi, eikä se tarvitse erillistä magnetointikäämitystä. Roottorin käämityksenä käytetään kuvassa 5 esitettyä häkkikäämistä, joka sijoitetaan roottorin uriin ja suljetaan molemmista päistä oikosulkurenkaalla. (Korpinen 1998a, 1-2.)

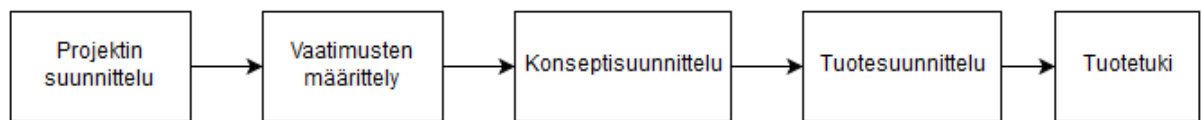


Kuva 5, Häkkikäämitys ja häkkikäämitetty roottori (mukaillen Nidec)

3 Suunnitteluprosessi

Jokaisella yrityksellä on omanlaisensa suunnitteluprosessi, joka ei yleensä seuraa tarkkaan mitään kirjoissa kuvattua prosessia. Siitä huolimatta suunnittelutyö etenee monesti tiettyjen, samantyylisten vaiheiden mukaisesti. Näitä ovat taustaselvitysvaihe, ideoiden kehittelyvaihe, ideoiden arviointi ja valitun ratkaisun jatkokehittely. Käytännössä suunnitteluprosessi ei ole suoraviivainen vaan iteratiivinen, eli usein joudutaan palaamaan prosessissa taaksepäin. (Kerkkänen 2015.)

Esimerkiksi Ullmanin koneensuunnitteluprosessi on esitetty kuvassa 6. Ullman jakaa prosessin viiteen pääkohtaan, jotka ovat projektin määrittely ja suunnittelu, tuotteen/laitteen määrittely, konseptisuunnittelu, tuotekehitys ja viimeisenä tuotetuki. Jokaisella vaiheella on oma tarkoituksensa ja niissä on syytä edetä vaihe kerrallaan, sillä aina seuraava vaihe pohjustetaan edeltävässä vaiheessa.



Kuva 6, Koneensuunnitteluprosessikaavio (mukaillen Ullman 2003, 68)

3.1 Suunnitteluprosessin alustus

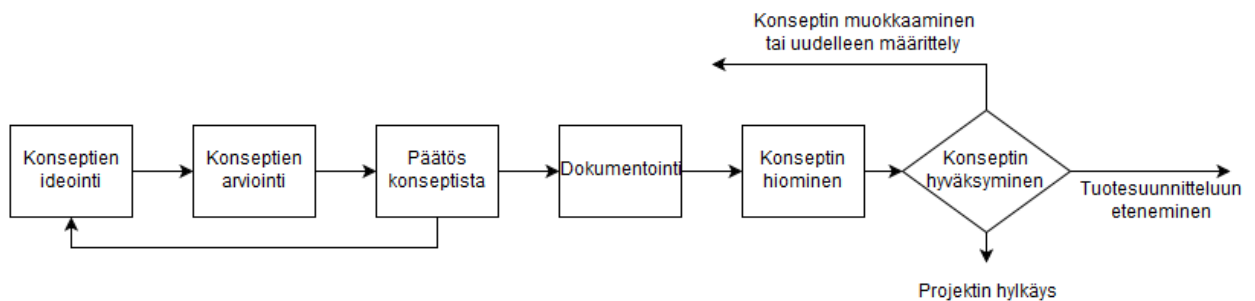
Projektin määrittely ja suunnittelu vaiheessa tehdään selkoa siitä, voiko projekti olla kannattava. Tässä vaiheessa tehdään mahdolliset markkinatutkimukset ja arvioidaan projektin aikataulu sekä tehdään sen kustannusarvio. Jos projekti vaikuttaa järkevältä ja kannattavalta, sitä voidaan jatkaa seuraavaan vaiheeseen, muussa tapauksessa se keskeytetään tai palataan takaisin lähtöruutuun. (Ullman 2003, 87-89.)

Määrittelyvaiheessa selvitetään mahdolliset asiakkaat ja selvitetään heidän tarpeensa ja vaatimuksensa. Tässä vaiheessa myös viimeistään selvitetään mahdolliset kilpailijat ja olemassa olevat tuotteet. Määrittelyvaiheessa tehdään suunnittelun vaatimukset ja asetetaan tavoitteet koneen toiminnalle. Tämän jälkeen voidaan siirtyä konseptisuunnitteluun. (Ullman 2003, 72; Ulrich & Eppinger 1995, 18-19.)

3.2 Konseptisuunnittelu

Konseptisuunnittelunlähtökohtana toimii tuotteen tai laitteen määrittely ja vaatimuslista. Tarkoituksena on kehitellä ideoita ja ratkaisuvaihtoehtoja joilla voidaan saavuttaa ennalta määritellyt vaatimukset. Näitä ideoita vertaillaan ja iteraation kautta saadaan toimiva idea tuotteesta.

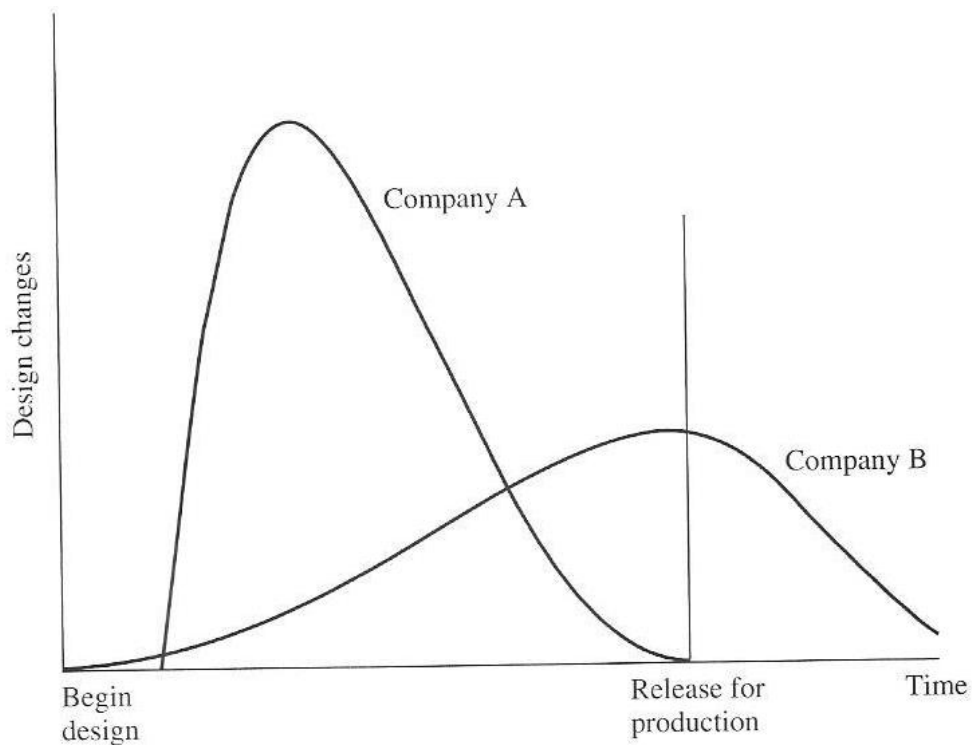
Ullmanin koneensuunnittelukaaviossa, esitetty kuvassa 7, konseptisuunnittelu voidaan jakaa vaiheisiin, jotka ovat konseptien ideointi, niiden arvioiminen, toimivan konseptin valinta, dokumentointi ja kommunikointi, parhaan konseptin jalostamisen ja konseptin hyväksyminen tai hylkääminen.



Kuva 7, Konseptisuunnittelun vaiheet (mukaillen Ullman 2003, 68)

Konseptisuunnittelun tarkoituksena on kehittää useita erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Tämä on tärkeää sillä sen lisäksi, että saadaan erilaisia vaihtoehtoja, myös samalla pureudutaan aiheeseen ja mahdolliset ongelmakohdat havaitaan tässä aikaisessa vaiheessa ja niihin pystytään reagoimaan. Kuvassa 8 on esimerkit kahden yrityksen suunnittelumuutoksista eri projektin vaiheissa. Mitä myöhemmässä vaiheessa joudutaan tekemään suuria muutoksia suunnitelmaan niin sitä kalliimmiksi muutokset tulevat. (Ullman 2003, 75-76.)

Olennaisena osana tätä vaihetta on myös arvioida tuotteen valmistuskustannuksia ja mahdollisia valmistusteknisiä ongelmia (Ulrich & Eppinger 1995, 15). Tällä myös vältetään myöhemmin tehtäviä muutoksia.



Kuva 8, Kahden yrityksen suunnittelumuutokset projektin aikana (Ullman 2003, 76)

Ongelmakohtien löytäminen jo konseptisuunnitteluvaiheessa on tärkeää, sillä tässä vaiheessa muutosten tekeminen ja mahdollisesti taaksepäin palaaminen on huomattavasti edullisempaa kuin myöhemmissä vaiheissa. Tavoitteena ei ole eliminoida muutoksien määrää vaan hallita ne niin, että suurimmat muutokset tapahtuvat suunnitteluprosessin alkuvaiheissa. (Ullman 2003, 73-74.)

Jo konseptivaiheessa voidaan tehdä prototyyppejä mahdollisesta lopputuotteesta. Nämä voivat olla yksinkertaistettuja malleja lopullisesta tuotteesta. Kalliissa ja monimutkaisissa tuotteissa voidaan taas tehdä virtuaalinen prototyyppi, jonka toimintaa voidaan simuloida virtuaalisesti.

Konseptien vertailun ja parhaan valinnan kannalta ideaalitilanne olisi, että jokaisesta konseptista on juuri niin paljon tietoa, jotta päätös voidaan tehdä ja jatkaa yhden kehittämistä tarkemmin. Toisaalta on vähemmän riskialtista, jos useampaa konseptia lähdetään jalostamaan eteenpäin, mutta silloin joudutaan käyttämään enemmän resursseja. Tätä voi soveltaa niin, että useita konsepteja kehitetään

samanaikaisesti ja huonoimpi karsitaan suunnittelun edetessä. (Ullman 2003, 177.)

Monimutkaisissa konsepteissa voidaan päätöksenteon apuvälineenä käyttää taulukon 1 mukaista arviointimatriisia, johon määritellään oleelliset kriteerit ja niille painokertoimet. Jokainen konsepti pisteytetään sen mukaan miten hyvin se täyttää kunkin kriteerin. Lopulta yhteispisteet lasketaan summaamalla kunkin pistemäärän ja painokertoimen tulo. Mitä suurempi yhteispistemäärä, niin sitä paremmin konsepti vertailussa pärjasi. (Ullman 2003, 185-188.)

Kriteeri	Painokerroin	Konsepti 1	Konsepti 2	Konsepti 3
Turvallisuus	2	3	3	5
Käyttöikä	1	3	2	3
Pisteet:		9	8	13

Taulukko 1, Päätöksentekomatriisi (mukaillen Ullman 2003, 185)

Hyvin toteutettu konseptisuunnittelu johtaa sujuvaan tuotesuunnitteluun, sillä mahdolliset sudenkuopat on onnistuttu eliminoimaan jo konseptivaiheessa.

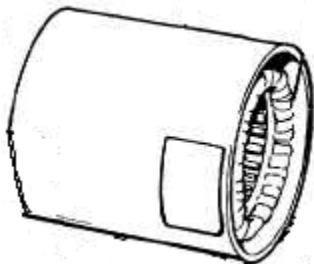

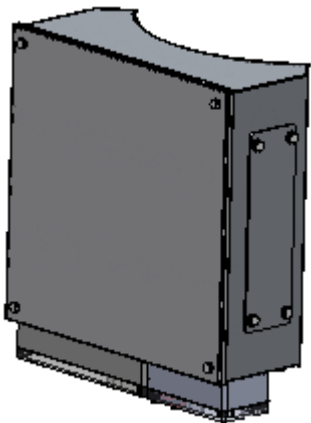
3.3 Tuotesuunnittelu

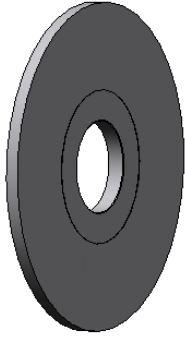



Tuotekehitysvaiheessa on tarkoituksena kehittää olemassa olevasta konseptista valmis tuote. Tässä vaiheessa suunnitellaan alikokoonpanot ja niiden kiinnityspisteet, jokaisen kappaleen lopullinen geometria ja käytetty materiaali, määritellään tarvittavat toleranssit ja tehdään tarvittavat valmistuskuvat (Ulrich & Eppinger 1995, 15-17).

Viimeisimpänä vaiheena koneensuunnittelun kannalta on tuotetuki, jossa tehdään mahdollisesti pieniä muutoksia joko asiakkaan tai valmistuksen toivomuksesta. Asiakkaalle tarjotaan tuotetukea ja ohjeistusta. Valmistuksen ja asennuksen tuki. (Ullman 2003, 68).

4 Suunnittelu

Tehtävänä oli suunnitella alle 1000 kg painavan sähkömoottorin kokoonpanopenkki. Moottorin kokoonpano koostuu useista alihankituista komponenteista, joista suurimmat on listattu alla olevassa taulukossa 2.

Komponentti	Referenssi kuva	Suuntaa antavat mitat
Runko/staattori	 (Kuvan lähde: Tpub)	400 kg Pituus 600mm Halkaisija 600mm
Roottori	 (Kuva: Larjola ym, 2010 123.)	150 kg Pituus 1000mm Halkaisija 250 mm
Kyt Kentäkotelo		50 kg 600x600x300 mm

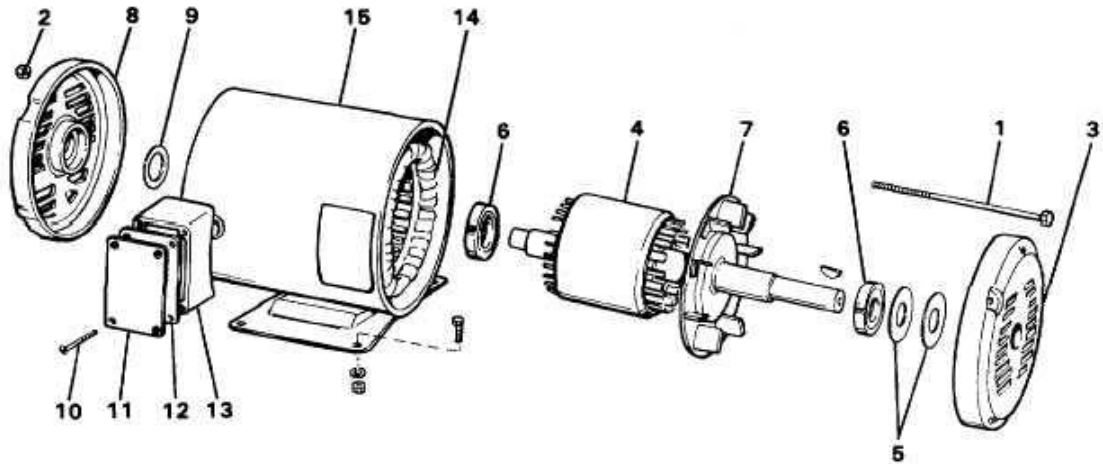
NDE-päätykilpi		25 kg Halkaisija 600 mm
NDE-laakeri ja tiivisteet	 (Kuva: Tpub)	30 kg
DE-päätykilvet		80 kg Halkaisija 600 mm
DE-laakeri ja tiivisteet	 (Kuva: Tpub)	30 kg

Taulukko 2, Asennettavat komponentit

Lisäksi on asennettava pienempiä osia kuten laakerien voiteluputket, tiivisteitä ja suojalevyjä.

Kokoonpanon tarkoituksena on saada osat kiinni toisiinsa hallitusti. Rungon sisään on asetettava roottori ja näiden väliin jää noin 3 mm ilmaväli. Lisäksi roottori on kiinnitettävä runkoon. Tämä vaatii, että runkoon kiinnitetään laakerikilvet ja laakerikilpiin laakerit jotka tulevat roottorin akselille. Roottori täytyisi saada pidettyä paikoillaan asennuksen ajan rungon sisällä niin, että ilmaväli pysyy jatkuvasti vakiona eikä roottori pääse osumaan runkoon.

Kuvassa 9 on erään sähkömoottorin räjäytyskuva. Roottori (4) asettuu rungon (15) sisään, runkoon tulee kiinni laakerikilvet (8 & 3) ja laakerit (6) tulevat roottorin ja laakerikilpien väliin.



Kuva 9, Vastaavanlaisen sähkömoottorin räjäytyskuva (Tpub)

4.1 Vaatimukset

Suunnitteluun liittyy oleellisesti vaatimuslista, jossa määritellään kuinka tuotteen tulee toimia, jotta saavutetaan haluttu lopputulos.

Alkupalaverissa esiin tulleista asioista koottu vaatimuslista:

- Laatu ja turvallisuus
- Tarkasti toleroidut pinnat pysyvät koskemattomina
- Herkkiin laakereihin ei saa kohdistua iskumaisia voimia
- Asennuksesta ei saa tulla kolhuja moottorin komponentteihin
- Runko kiinnitettävä asennustelineeseen asennuksen ajaksi
- Roottori lukittava paikoilleen asennuksen ajaksi
- Asiakkaan määrittelemät rajapinnat pysyvät toleransseissa

Vaatimuksien lisäksi on toivottavaa, että lopputulos täyttää seuraavista mahdollisimman monta kohtaa:

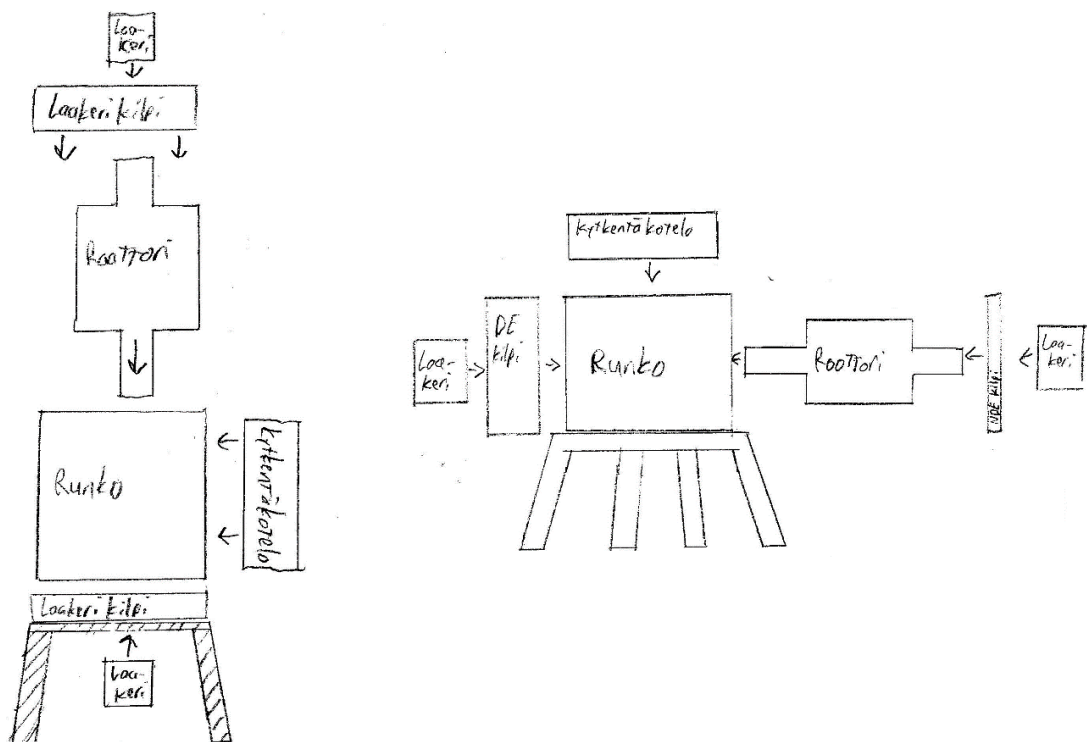
- Helppo asennus
- Nopea asennus
- Yksinkertaisuus

Tehtävänannon ja vaatimuslistan perusteella voidaan päätellä mitä asioita työssä on otettava huomioon ja käsiteltävä, jotta päästään tavoitteisiin. Tämän opinnäytetyön kannalta on siis syytä miettiä seuraavat asiat:

- Kokoonpanotelineen geometria
- Komponenttien nostaminen, tarvittavat apuvälineet
- Osien asennusjärjestys
- Komponenttien asennusasento
- Tilantarve asennuksessa

4.2 Ideointi

Alustavasti hahmoteltiin paperille erilaisia asentoja asennukseen kuten kuvassa 10, asennuspenkkejä, nostoapuvälineitä ja asennusjärjestyksiä. Tämän jälkeen alettiin miettiä tarkemmin kunkin vaihtoehdon toteutettavuutta, vaatimusten täyttymistä, sekä hyviä ja huonoja puolia. Näistä osista alettiin kasaamaan toimivinta konseptia asennukseen.



Kuva 10, Hahmotelmat pysty- ja vaaka-asennosta

4.2.1 Asennusasento

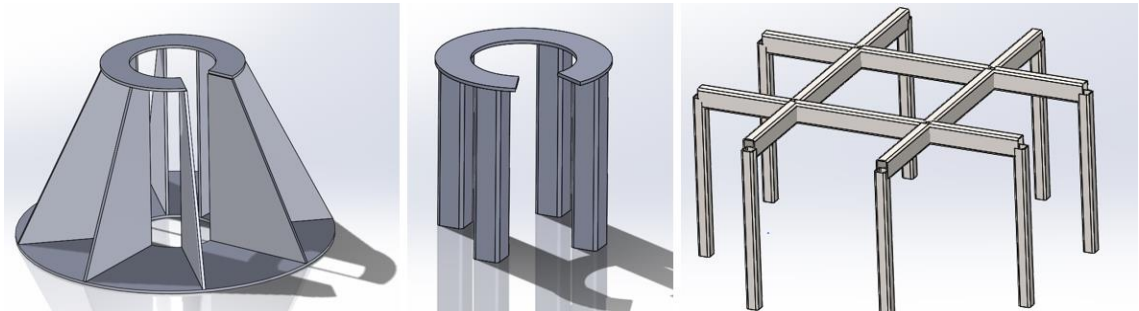
Asennuksen kannalta koneen asento asennusvaiheessa on hyvin merkitsevä. Koneen asentoa voi muuttaa asennuksen aikana tarvittaessa, mutta silloin koneen kääntö tulee suunnitella hyvin ja se tekee asennusprosessista monimutkaisemman.

Yksinkertaisimmat asennusasennot ovat joko kone vaaka-asennossa tai pystyasennossa. Näillä tavoilla asennusteline voidaan toteuttaa hyvin yksinkertaisesti, esimerkiksi hitsattuna teräsrakenteena. Jotta koneen asentoa voisi vaihtaa kesken asennuksen, tarvitaan joko kaksi telinettä tai yksi teline, joka on suunniteltu niin, että koneen asentoa voidaan kääntää.

Vaaka-asennossa etuna on, että moottori tulee asennettua samassa asennossa kuin missä sitä tullaan käyttämään. Nostokorvakkeet ovat suunniteltu olevan koneen päällä molemmin puolin, joten valmis kone olisi helppo nostaa pois kokoonpanopenkistä ja siirtää kuljetuskoteloon tai testipenkkiin. Suuri haittapuoli tässä asennossa on pitkän roottorin asentaminen staattorin sisään. Tämän toteuttaminen vaatisi aivan uudenlaisen nostoapuvälineen, joka pitäisi roottorin lähes luottisuorana vaaka-asennossa ja työntäisi sen staattorin sisään niin, että ilmaväli pysyy joka puolella tasaisena. Näin vaativaa asennusta on syytä välttää.

Kun kone asennetaan pystyasennossa, edellä mainitun kaltaisia ongelmia ei juuri tule. Tällöin valtaosa osista voidaan tuoda ylhäältä alaspäin ja asettaa koneeseen. Asennettavuuden helppouden mittaamiseksi on kehitetty erilaisia arviontitaapoja ja tällainen top-down asennus on myös erittäin asennusystävällinen. Esimerkiksi Hitachi Assembly Evaluation –metodi on asennuksen helppouden arviointiin kehitetty menetelmä, jossa vaikeille asennusvaiheille annetaan sakkopisteitä. Kyseinen arviontimetodi antaa ylhäältä-alas –asennukselle 0 sakkopistettä, joka tarkoittaa helpointa mahdollista asennusta (Eskelinen & Karsikas, 2010, 81-83). Pystyasennossa roottori voidaan asettaa paikalleen niin, että se nostetaan toisesta päästä roikkumaan ilmaan ja lasketaan sitten alas haluttuun paikkaan. Akselin molemmissa päissä on ruuvikierteet, joihin voidaan asettaa nostokorvake.

Pystyasentoa käytettäessä toinen koneen laakerikilvistä tulisi suoraan asennustelineen päälle. Koneen kiinnitys penkkiin voisi siis mahdollisesti tapahtua niin, että laakerikilpeen laitetaan ruuvi asennuspenkin läpi. Mahdollisesti penkin päälle voitaisiin laittaa levy joka on kosketuksissa laakerikilven kanssa. Alustavia penkivaihtoehtoja on hahmoteltu kuvassa 11.



Kuva 11, Erilaisia asennuspenkkejä, ylhäältä alas –asennukseen

4.2.2 Komponenttien nosto ja tarvittavat nostoapuvälineet

Roottori voidaan nostaa kummasta tahansa päästä, sillä akselin päähän voidaan kiinnittää nostoruuvien. Tämä ei vaadi erityisiä nostoapuvälineitä. Akselin päissä sijaitsevat reiät ovat symmetrisesti akselin keskilinjalla, joten voidaan olettaa roottorin pysyvän vertikaalisessa asennossa siitä nostamalla.

Massaltaan raskain osa on koneen runko. NDE-päästä ainoa nostotapa on nostaa käyttämällä päädyssä olevia ruuvireikiä, joihin laakerikilpi kiinnitetään. DE-päässä on useampia mahdollisuuksia. Vastaavanlaisten ruuvireikien lisäksi runko voidaan nostaa neljästä ilma-aukosta, joiden läpi voidaan pujottaa esimerkiksi nostoremmit tai –vaijerit. Kolmas tapa on nostaa päätylaipasta, tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 12 tynnyrinostimen tapaisella ratkaisulla.



Kuva 12, Tynnyrinostin (Sareskoski)

Tynnyrinostimella voidaan nostaa myös DE-puolen päätykilpi, sillä siinä on vastaavanlainen laippa kuin rungossakin. Valmis kone voitaisiin sitten asennuksen jälkeen nostaa pois penkistä tällä tynnyrinostimella, ottamalla kiinni juuri DE-puolen päätykilvestä.

4.2.3 Komponenttien asennusjärjestys

Asennusjärjestykseen ei juuri pystytä vaikuttamaan, kun sähkömoottori on jo suunniteltu lähes valmiiksi. Valtaosa komponenttien asennuksista vaatii, että tietyt osat ovat kiinni rungossa, jotta seuraava komponentti saadaan kiinnitettyä. Varsinkin pystyasennossa asennus muistuttaa kutakuinkin nousevaa tornitaloa, joka täytyy asentaa kerros kerrokselta, kattohuoneistoa ei voida rakentaa ennen kuin tarvittavat tukirakenteet ovat valmiina.

Kuitenkin suurimmista komponenteista roottorin ja rungon asennusjärjestys voidaan valita, jos käytetään pystyasennusta. Roottori saadaan kiinnitettyä laakeriin ja päätykilpeen, oli runko jo asennettu tai ei. Kuitenkin siinä missä roottori on helposti nostettavissa pystyasennossa, runko ei ole nostettavissa yhtä helposti. Runko ei välttämättä nostettaessa asetu täysin pystysuoraan asentoon vaan se saattaa jäädä hieman vinoon, tämä saattaa johtaa siihen, että runko kolhaisee paikalleen asennettua roottoria. Tämän mahdollisen osuman aiheuttama voima siirtyy laakerien kautta asennustelineeseen ja on riski, että laakeri vaurioituisivat.

Jos taas runko asennetaan ensin, voidaan kevyt roottori laskea melko stabiilisti rungon läpi ja kiinnittää roottori laakereineen päätykilpeen.

Asennettaessa roottoria staattorin sisään voitaisiin niiden väliin laittaa ohut muovinen suojaputki. Tämä auttaisi ohjaamaan kappaleita oikeille paikoille ja suojaisi metallipintoja mahdollisilta kosketuksilta.

4.3 Vertailu

Asennusasento

Kuvassa 9 esitettyä vaaka-asentoa ei voida käyttää, koska roottorin asentaminen ei ole toteutettavissa työhön nähden järkevällä tavalla. Tästä syystä kone tullaan, ainakin olennaisimpien osien osalta, asentamaan pystyasennossa.

Asennuspenkin tuenta

Kuvassa 10 esiteltiin muutama mahdollinen teline, joissa moottori oli tuettu eri tavoin. Tuennan osalta vaatimukset ovat, että kaikki komponentit ovat asennettavissa, eivätkä mitkään osat pääse kolhiintumaan asennuspenkkiin. Kuvassa 10 vasemmanpuoleinen teline on tuettu levyillä, joita tulisi vielä muokata niin, että laakeri voitaisiin asentaa keskeltä. Tällaisen tuenta vaatisi runsaasti muotoon leikattua levyä ollakseen toimiva teline. Mitä enemmän tilaa laakerin asennukselle tehtäisiin, niin sitä heikommaksi telineen kesto tulisi.

Keskimmäisenä kuvan telineessä on putkilla tuettu asennuspenkki. Tässä putkia tulisi kääntää ainakin 45 asteen kulmaan, jotta saataisiin riittävä tila laakerille. Tämä leventäisi telinettä huomattavasti ja silti laakerin asennus voisi olla ahdasta, kun putket ovat hitsattu lähelle keskustaa.

Oikeanpuolimmainen teline soveltuu hyvin, sillä siinä on reilusti tilaa laakerin asennukselle. Lisäksi se voidaan toteuttaa vain mittaan sahatuilla teräsputkilla, joten se on verraten edullinen valmistaa. Valitaan siis tuennaksi tällainen putkista tehty hämähäkki. Tähän alkuperäiseen hahmotelmakuvaa on kuitenkin syytä lisätä telineen päälle levy, jotta koneen laakerikilpi saadaan kiinnitettyä asennuspenkkiin asennuksen ajaksi.

Alapuolella oleva pää

Pystyasennuksessa on vaihtoehtoina asentaa kone vetopää joko ylä- tai alapuolella. Tämän valintaan vaikuttavat mm. suurimpien komponenttien nostomahdollisuudet, päätylevyjen kiinnitys runkoon ja päätylevyjen kiinnittäminen asennuspenkkiin.

Roottorin akselin on vetopään puolelta hyvin tarkasti toleroitu, joten mieluisampaa olisi nostella roottori N-päästä. Vastaavasti taas rungon nostaminen onnistuu helpommin D-päästä, koska sillä puolella on nostoon käytettävissä kiinnitysruuvien reikien lisäksi myös ilma-aukot ja laippa, josta runko voidaan nostaa tynnyrinostimen tapaisella apuvälineellä.

NDE-pää alhaalla kasatessa on telineessä huomioitava nostokorvake, joka tulee muuta päätyä pidemmälle. Saman puolen päään laakerikilvessä on muutama reikä, joista kone voidaan pultata kiinni asennuspenkkiin. Kiinnittäminen onnistuu parhaiten, kun asennustelineen rungon päälle asetetaan levy, johon on leikattu reiät sopiville kohdille. Samoin tähän levyyn tulee tehdä lovi nostokorvaketta varten.

4.4 Jatkokehitys

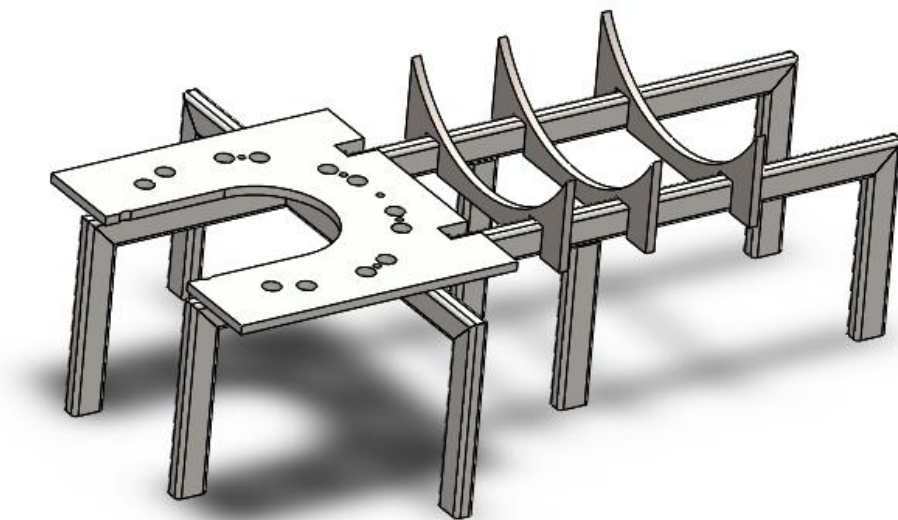
Pysty-asennossa asennettaessa NDE-pää alhaalla saadaan kaikki osat paikoilleen verraten helposti ja kivuttomasti. Ehkäpä hankalimmiksi vaiheiksi tulevat kytkentäkotelon asennus koneen kylkeen ja valmiin koneen nostaminen kuljetusalustalle. Nostaminen tuottaa vaikeuksia koska koneen molemmissa päissä on vain yhdet nostopisteet ja koneen nostamisen on tapahduttava stabiilisti ilman, että roottori tai laakeri kolahtaa asennuspenkkiin. Nostaminen voidaan tehdä tynnyrinostin tyyliin, mutta ongelmaksi tulee laitteen kääntäminen ilmassa vaakasentoon. Se kyllä onnistuu, mutta tyylipisteet jäävät pieniksi.

Vaikka alkuun vaikutti, ettei koneen asennon kääntäminen penkissä ole tarpeen niin nyt kuitenkin sille olisi käyttöä. Tämä voidaan toteuttaa, kuvan 13 mukaisesti, hieman pidentämällä telinettä ja tekemällä asennuspenkin kiinnityslevyyn nivel, jonka ympäri kone voidaan kääntää 90 astetta, jolloin se asettuu vaakatasoon

telineen päälle. Mahdollista on myös suunnitella sähkömoottorin kuljetuslaatikosta sellainen, että moottori voidaan käännettäessä laskea suoraan kuljetusalustalle.

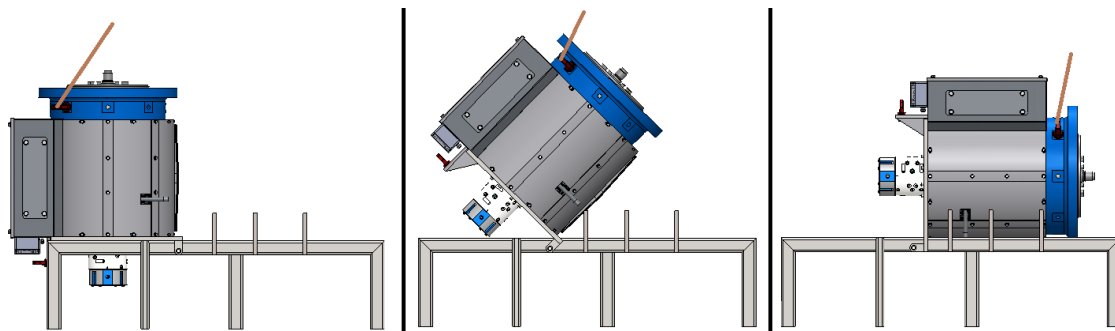
Asennusergonomian kannalta on syytä kasvattaa kuvan 13 penkkien jalkoja hieman pidemmiksi, jolloin alhaalla on enemmän tilaa asentaa laakeri.

Käännettävää telinettä käytettäessä on syytä käyttää roottorin paikalleen lukitsemiseen sellaista apuvälinettä, joka kiinnittyy roottorin akselin päähän ja toinen pää tulee moottorin runkoon. Tämän tyylinen kiinnitys onnistuu verraten helposti koneen NDE-päässä, sillä kyseisellä puolella on käytettävissä akselissa ylimääräisiä reikiä ja nostokorvakkeen uloke, joka näkyy kuvassa 12.



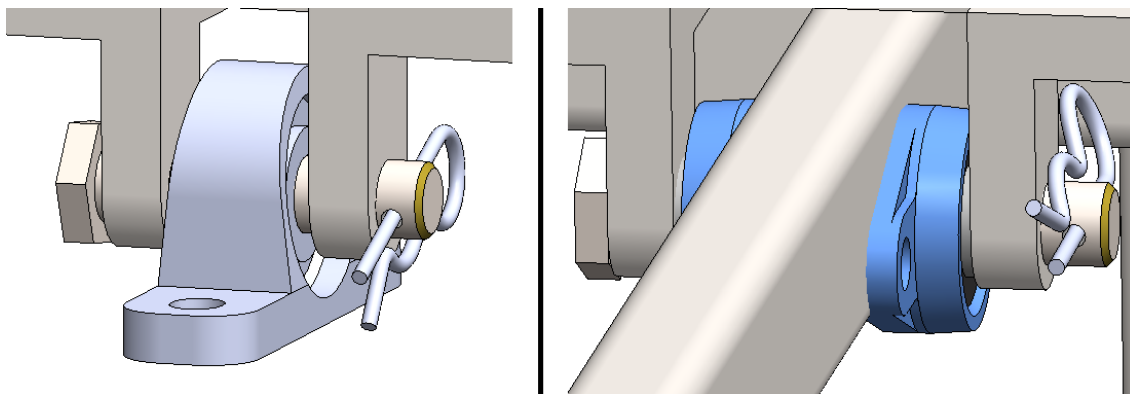
Kuva 13, Asennusteline jossa kone voidaan kääntää

Tämä kääntö voidaan toteuttaa nostamalla konetta nostokorvasta ja laskemalla alas vaaka-asentoon, kuvan 14 mukaisesti. Mahdollista sarjatuotantoa silmälläpitäen kääntö voitaisiin toteuttaa myös lisäämällä penkkiin hydraulisylinteri, jolla kääntyvää levyä voidaan kääntää 90-astetta.



Kuva 14, Koneen kääntö sarjakuvana

Nivelöinti voitaisiin toteuttaa niin, että asennuspenkkiin laitetaan laippalaakerit ja niiden akselin kohdalle porataan reikä penkin teräsputken läpi. Näihin reikiin laitettaisiin sivulta sokkatapit, jotka kestäisivät koneen massan.



Kuva 15, Mahdollinen nivelöintitapa, pukki- tai laippalaakerilla

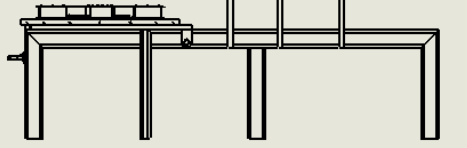
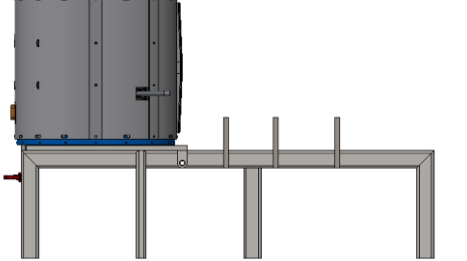
Laakerit painavat kumpikin noin 30 kg, joten erityisesti alapuolelta asennettavalle laakerille voisi olla järkevää rakentaa jonkinlainen nostolaite turvallisen asennuksen takaamiseksi. Tähän voisi soveltua hyvin ruuvinostin, jonka päällä on sileä taso, jota voidaan nostaa tai laskea ja jossa laakeri pysyy pystyssä. Lisäksi ruuvinostin voisi olla, kuvan 15 mukaisesti, pyörien päällä jolloin sitä pystytään liikuttamaan lattiatasossa. Asennustelineen korkeudesta ja ruuvinostimen korkeudesta riippuen tarvetta voi olla lisätä asennuspenkkiin erillinen taso ruuvinostinta varten, vaihtoehtoisesti ruuvinostin voi olla myös tason alapuolella ja nostaa tai laskea tätä tasoa.

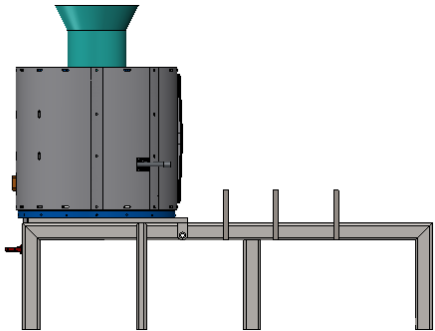
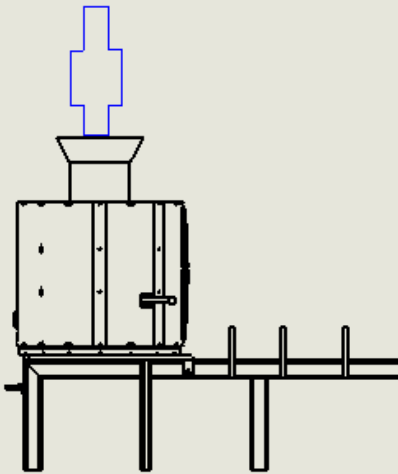
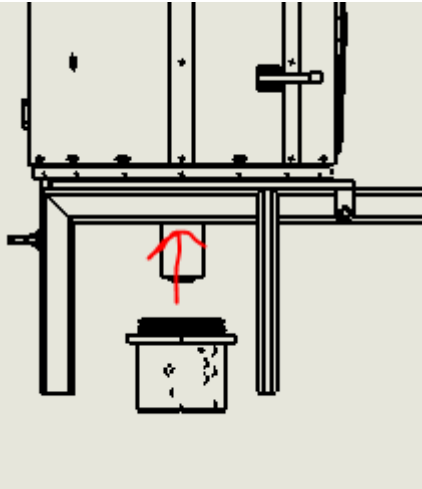


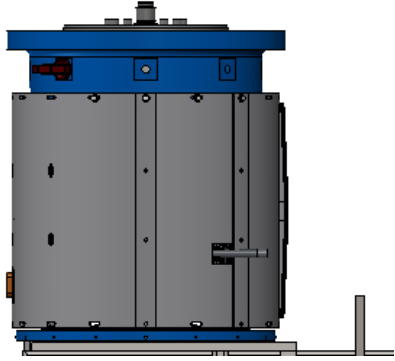
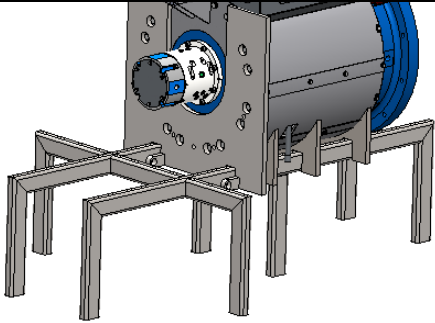
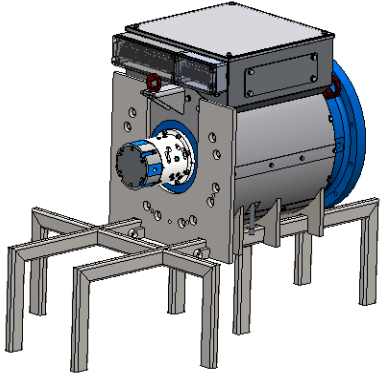
Kuva 16, Ruuvinostin pyörillä (mukaillen Jacton Industyr)

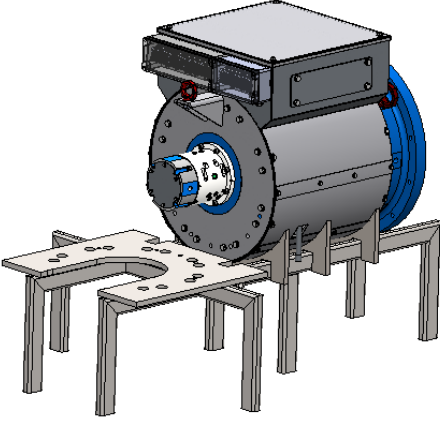
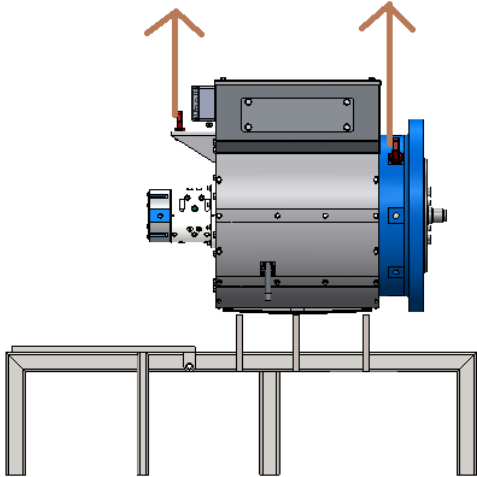
4.5 Kuvaus asennusprosessista

Lopputuloksena olevalla kokoonpanopenkillä asennusprosessin vaiheet on esitetty seuraavassa taulukossa 3:

<p>1. Laitetaan kokoonpanotelineen levyn päälle NDE-kilpi ja kiinnitetään se telineeseen ruuveilla</p>	
<p>2. Nostetaan runko kilven päälle ja kiinnitetään runko NDE-kilpeen, nostossa käytetään apuna hihnoja</p>	

<p>3. Asetetaan rungon sisään muovinen asennussukka suojaamaan rungon sisäosia</p>	
<p>4. Nostetaan roottoriakseli DE-päästä ja lasketaan se alas rungon läpi</p>	
<p>5. Kiinnitetään tiiviste NDE-kilven ja roottorin väliin</p>	
<p>6. Asennetaan NDE-laakeri</p>	
<p>7. Kiinnitetään laitteeseen roottorilukko, jotta roottorin akseli ei pääse pyörimään</p>	

<p>asennuksen aikana ja tässä vaiheessa vii- meistään poistetaan aiemmin laitettu muo- vinen asennussukka</p>	
<p>8. DE-päähän asennetaan tiiviste, laakeri, laakerin voiteluputket, DE-kilpi ja suoja- levy</p>	
<p>9. Kiinnitetään rungon kylkeen suojalevyt</p>	
<p>10. Käännetään kone vaakatasoon</p>	
<p>11. Asennetaan kytkentäkotelo</p>	

<p>12. Irrotetaan kokoonpanotelineen etulevy NDE-kilvestä</p>	
<p>13. Asennetaan NDE-laakerin voiteluputket</p>	
<p>14. Nostetaan valmis kone pois asennuspenkiltä</p>	

Taulukko 3, Kuvaus asennusprosessista

Asennusprosessi on siis melko suoraviivainen, eikä se vaadi koneen irroitusta alustasta kesken asennuksen. Suurin osa komponenteista asennetaan ylhäältä-alas -asennuksena. Lopussa kone on valmiiksi vaakatasossa, josta se on helppo nostaa suunnitellusti ja siirtää kuljetuslaatikkoon tai testipenkkiin.

5 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän insinööri työn tavoitteena oli tuottaa konseptisuunnitelma asennuspenkistä, jolla asennus onnistuisi vaatimusten määrittämällä tavalla. Työn tuloksena saatiin idea ja kuvaus penkistä asennusprosesseineen, joka täyttää nämä vaatimukset. Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin.

Työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen erityisesti sähkömoottorien perusteiden osalta. Paikoitellen suunnittelussa oli haastetta, sillä yksittäinen valinta esimerkiksi asennusjärjestyksessä määräsi pitkälti seuraavat asennusvaiheet, eivätkä ne olleet välttämättä kovin toteutettavissa olevia tai käyttökelpoisia. Erityisen tärkeäksi osoittautui koneen tuoterakenteen ja komponenttien välisten kiinnitysten hahmottaminen.

Suunnitteluprojekti aloitettiin maaliskuussa 2016 ja se saatiin päätökseen kesäkuuhun mennessä. Työ alkoi alkupalaverilla, jossa tehtävänanto ja tarvittavat vaatimukset määriteltiin. Projektin aikana pidettiin tapaamiset välinäytön ja lopullisen konseptin esittelyn muodossa. Lisäksi niiden välissä pidettiin yhteyttä, jotta työ eteni toivottuun suuntaan.

Onnistuneena voidaan pitää sitä, että konseptisuunnittelun tuloksena ollutta asennustelinettä on mahdollista käyttää myös muiden samantyylisten moottoreiden asennukseen. Mikäli moottori on pidempi tai lyhyempi, konseptin mukainen asennusteline sopii sille täysin. Jos koneen halkaisija on suurempi tai pienempi, asennusteline voidaan muokata sille sopivaksi. Tämä onnistuu erilaisella kiinnityslevyllä, muun tukirakenteen pysyessä samana.

Suunnitteluprosessille tyypillisesti välillä jouduttiin palamaan taaksepäin. Alussa ajatus käännettävästä kokoonpanopenkistä ei tuntunut järkevältä, sillä käännölle ei löytynyt riittävän painavia syitä asennuksen kannalta. Lopulta ongelmia alkoi tuottaa valmiin koneen nostaminen pois asennuspenkistä, lähinnä sen kääntäminen vaaka-asentoon. Useammilla nostokorvakkeilla kääntö voisi onnistua tyylikästäsi ilmassakin, mutta niiden määrän lisääminen ei nykyiseen moottoriin enää onnistunut.

Suunnittelun edetessä oli helppo tiputtaa huonoimpia vaihtoehtoja pois. Usein vastaan tuli jokin yksittäisen liian vaikeaksi muodostuva asennusvaihe, kuten vaakatasossa asennettava roottori. Lopulta jäljelle ei juuri jäänyt suuresti toisistaan poikkeavia vaihtoehtoja, vaan ainoastaan yksi hyvä, johon voi tehdä pieniä muutoksia.

Jotta asennusteline voidaan ottaa käyttöön, tämän konseptisuunnittelun jälkeen on tehtävä tarkempi tuotesuunnittelu. Tämä pitää sisällään mm. rakenteiden tarkan mitoituksen ja valmistuskuvien tekemisen. Lisäksi mahdollisesti tarvitaan telineen kiinnitys lattiaan, tällöin tulee ottaa selville olemassa olevat mahdollisuudet siihen.

Kuvat ja taulukot

- Kuva 1, Induktiomoottorin rakenne, s. 6
Kuva 2, Johdin magneettikentässä, s. 7
Kuva 3, Johdinsilmukka magneettikentässä, s. 7
Kuva 4, Tasavirtamoottorin nopeus-vääntö –kuvaaja, s. 8
Kuva 5, Häkkikäämitys ja häkkikäämitty roottori, s. 9
Kuva 6, Koneensuunnitteluprosessikaavio, s. 10
Kuva 7, Konseptisuunnittelun vaiheet, s. 11
Kuva 8, Kahden yrityksen suunnittelumuutokset projektin aikana, s. 12
Kuva 9, Vastaavanlaisen sähkömoottorin räjäytyskuva, s. 16
Kuva 10, Hahmotelmat pysty- ja vaaka-asennoista s. 18
Kuva 11, Erilaisia asennuspenkkejä, ylhäältä-alas –asennukseen, s. 19
Kuva 12, Tynnyrinostin s. 20
Kuva 13, Asennusteline jossa kone voidaan kääntää, s. 23
Kuva 14, Koneen kääntö sarjakuvana, s. 24
Kuva 15, Mahdollinen nivelöintitapa, s. 24
Kuva 16, Ruuvinnostin pyörillä, s. 25
- Taulukko 1, Päätöksentekomatriisi, s. 13
Taulukko 2, Asennettavat komponentit, s. 14
Taulukko 3, Kuvaus asennusprosessista, s. 25

Lähteet

Eskelinen, H. & Karsikas, S. 2013. DFMA-OPAS – Valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. LUT Scientific and Expertise Publications, Lappeenranta

Goldberg, L. 2012. EV Drive Electronics
<http://www.digikey.com/en/articles/techzone/2012/sep/ev-drive-electronics-evolve-to-support-rare-earth-free-motor-technologies>. Luettu 27.4.2016.

Green Energy Showroom.
<http://www.greenenergyshowroom.fi/fi/yritykset/switch/>. Luettu 23.4.2016.

Hughes, A. 1993. Electric Motors and Drives, Butterworth-Heinemann Ltd.

Hyperphysics.
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/motdc.html/>.
Luettu 6.4.2016.

Jacton Industyr,
<http://www.screwactuator.com/product/15-ton-machine-screw-actuator.html>.
Luettu 22.4.2016

Kerkkänen, K. 2015. Tuotekehitys ja muotoilu. Saimaan ammatti-korkeakoulu. Tekniikka. Luentomateriaali.

Korpinen 1998, Sähkökoneet, osa 1 ja osa 2.
<http://www.leenakorpinen.fi/node/158/>. Luettu 20.3.2016.

Kortelainen 2009.
<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx/>.
Luettu 29.3.2016.

Larjola, J., Arkkio, A. & Pyrhönen J. 2010. Suurnopeustekniikka - High Speed Technology in Finland. Yliopistopaino, Helsinki.

Motiva 2014. Sähkösäädinrytityypit.
http://www.motiva.fi/liikenne/henkilöautoilu/valitse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/moottoritekniikka/sahkoautot/sahkomoottorityypit/. Luettu 20.3.2016.

Nidec.
<http://www.nidec.com/en-NA/technology/motor/basic/00026/>. Luettu 28.4.2016

Sareskoski.
https://www.sareskoski.com/kuvat/tyynyrynostin-1____m.jpg. Luettu 28.4.2016

The Switch, yrityksen verkkosivut.
<http://www.theswitch.com/>. Luettu 20.3.2016.

Tpub.

http://compressors.tpub.com/TM-5-4310-385-13/css/TM-5-4310-385-13_97.htm
Luettu 28.4.2016

Ullman, D. 2003. The Mechanical Design Process, McGraw-Hill Inc.

Ulrich, K. & Eppinger, S. 1995. Product Design and Development, McGraw-Hill Inc.

UMN (University of Minnesota) 2014, Understanding DC Motors.
<http://www.me.umn.edu/courses/me2011/arduino/technotes/dcmotors/motor-tutorial/>.
Luettu 27.4.2016.